



República Federativa do Brasil
Ministério da Economia
Instituto Nacional da Propriedade Industrial

(21) BR 102017024116-5 A2



(22) Data do Depósito: 09/11/2017

(43) Data da Publicação Nacional: 04/06/2019

(54) **Título:** SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE REVESTIMENTOS, MÉTODO PARA A AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE REVESTIMENTO E USO DA LIGA MAGNETOELÁSTICA

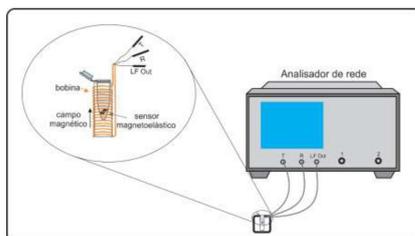
(51) **Int. Cl.:** G01N 17/00; G01R 33/18; G01N 27/72; H01F 1/153; G01N 33/00.

(52) **CPC:** G01N 17/00; G01R 33/18; G01N 27/72; H01F 1/153; G01N 2033/0096.

(71) **Depositante(es):** UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL.

(72) **Inventor(es):** LÍLIAN VANESSA ROSSA BELTRAMI; CÉLIA DE FRAGA MALFATTI.

(57) **Resumo:** A presente invenção descreve sobre um método de avaliação da qualidade de revestimentos aplicados sobre um substrato metálico, sem a necessidade de conexões elétricas com a amostra. No sistema de avaliação, empregado na presente invenção, envolve a utilização de um substrato metálico específico ? liga ferromagnética amorfa, e baseia-se no princípio da magnetostricção/magnetoelasticidade deste material, então chamada de liga magnetoelástica. Adicionalmente, a presente invenção também refere-se ao uso da uma liga magnetoelástica para a caracterização das propriedades protetivas de revestimentos de baixa espessura (filme fino), com até 5 μm . A presente invenção se situa nos campos da química e da física, mais especificamente na análise de materiais



Relatório Descritivo de Patente de Invenção

SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE REVESTIMENTOS, MÉTODO PARA A AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE REVESTIMENTO E USO DA LIGA MAGNETOESLÁSTICA

Campo da Invenção

[0001] A presente invenção descreve sobre a utilização de um material magnetoelástico - liga ferromagnética amorfa - para a avaliação da resistência à corrosão de revestimentos de baixa espessura empregando o monitoramento da frequência de ressonância específica. A presente invenção se situa nos campos da química e da física, mais especificamente na análise de materiais.

Antecedentes da Invenção

[0002] Selecionar revestimentos protetores apropriados para a proteção de metais é fundamental para a durabilidade e integridade destes materiais. Várias técnicas são utilizadas para caracterizar e avaliar a qualidade destes revestimentos, técnicas eletroquímicas, como espectroscopia de impedância eletroquímica, polarização linear ou cíclica, monitoramento de potencial de circuito aberto, dentre outros. Porém, todas estas técnicas necessitam conexão direta entre a amostra e o equipamento utilizado para a análise.

[0003] Além disso, a maioria dos métodos de prevenção da corrosão consiste em intercalar uma camada protetora (revestimento) entre o metal e o meio corrosivo. Estes revestimentos protetores podem ter formação natural (óxidos) ou artificial (filmes finos). É fundamental selecionar os revestimentos protetores apropriados em função do mecanismo de desgaste ao qual serão expostos. O diagnóstico certo implicará na seleção de um revestimento apropriado. Dentre os fenômenos de desgaste, a corrosão é um dos mais comuns, provocando perda de espessura e falhas em estruturas metálicas, que podem comprometer sua integridade, levando-as ao colapso e causando grandes acidentes. Em especial, a corrosão eletroquímica envolve reações de

oxirredução que transformam os metais em óxidos ou em outros compostos. Logo é fundamental a identificação dos mecanismos de corrosão que atuam mais fortemente sobre o metal, considerando o ambiente de operação, a fim de preveni-los ou retardá-los.

[0004] Os revestimentos, quando aplicados sobre a superfície metálica, tendem a separar a superfície do meio corrosivo. Esta proteção é denominada de proteção por barreira ou por retardamento do movimento iônico e está diretamente relacionada com o tempo necessário para que o eletrólito alcance o metal protegido. Contudo, em virtude da permeabilidade do revestimento, depois de algum tempo o eletrólito alcançará a superfície metálica e iniciará um processo corrosivo.

[0005] Na busca pelo estado da técnica em literaturas científica e patentária, foram encontrados os seguintes documentos que tratam sobre o tema:

[0006] O documento US20020166382 revela sobre um instrumento que mede as características e propriedades elásticas de filmes finos, utilizando como plataforma uma liga magnetoelástica e tendo como funcionamento básico a variação da frequência de ressonância. O objetivo desse documento é desenvolver um aparelho e uma técnica para obter medições diretas e monitorar as alterações nas características relativas à natureza elástica de uma camada de material da superfície de um elemento magnetostrictivo de base. Ainda, os inventores indicam que seu equipamento é apropriado para aplicações na área biomédica e para o controle de espessura de camada de revestimento aplicado em diferentes técnicas. Por outro lado, em nenhum momento é proposto ou sugerido a utilização deste equipamento no controle do processo corrosivo de metais revestidos. Dessa forma, a presente invenção se distancia desse documento por propor uma aplicação específica do sistema magnetoelástico, a fim de acompanhar a evolução do processo corrosivo em metais magnetoelásticos revestidos, indicando assim as características e propriedades protetivas do revestimento.

[0007] Os documentos US6397661 e US6397661 revelam um aparelho de detecção da variação de viscosidade e/ou temperatura e da presença de concentração ou ausência de elementos químicos, de compostos contaminantes, germes (bactérias, vírus, etc.), enzimas, anticorpos, etc. em vários ambientes (líquidos e gasosos). Para isso, desenvolveram um sensor magnetoelástico que detecta, a partir da alteração na massa, a variação na intensidade de emissão magnetoelástica, tomadas pela frequência de ressonância.

[0008] O documento US6286361 revela sobre um aparelho para detectar a pressão em uma lâmina de um motor de turbina a gás. Este aparelho consiste em um transdutor de magnetostricção disposto em uma câmara secundária da lâmina do motor. Com a aplicação de um campo magnético alternado, o transdutor de magnetostricção gere vibrações na pá do motor e no transdutor de magnetostricção. Uma bobina de busca magnética detecta mudanças no campo magnético, que corresponde às vibrações, e um processador analisa as vibrações para determinar se houve uma mudança na frequência de ressonância das vibrações que é indicativa de uma mudança na pressão na lâmina do ventilador. A mudança na pressão é indicativa de que a lâmina do ventilador está rachada e precisa ser substituída.

[0009] No documento WO200644469 revela sobre um sistema para a medição dinâmica da viscosidade ou densidade de um fluido utilizando partículas magnetostrictivas. As partículas magnetostrictivas são colocadas em contato ou proximidade com um fluido onde podem sofrer estresse causado pela viscosidade do fluido quando elas se expandem, se contraem ou se movem de qualquer outra forma. Um campo magnético alternado é aplicado ao sistema fazendo com que as partículas se expandam e se contraíam. Uma bobina de detecção detecta um campo magnético total que é uma superposição do campo aplicado e um campo gerado nas partículas magnetostrictivas à medida que elas se expandem e se contraem.

[0010] O documento US5841350 revela sobre um dispositivo de

segurança eletrônico em formato de etiqueta ressonante. Este dispositivo inclui uma estrutura planar em camadas tendo um substrato dielétrico - magnetoelástico, um circuito ressonante transportado em ambos os lados do substrato dielétrico e um material semicondutor tendo um sal ionizável dissolvido no mesmo. O material semicondutor proporciona uma ponte semicondutiva através de um ponto de ativação ou desativação no circuito e liga o circuito condutor em ambos os lados do ponto de ativação ou desativação.

[0011] Diante de tudo o que foi apresentado, diferentemente da presente invenção, os sensores que utilizam ligas magnetoelásticas anteriormente desenvolvidos visam avaliar as alterações no meio onde se encontram ou as propriedades intrínsecas dos revestimentos aplicados sobre estas ligas. Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

[0012] A indústria está constantemente procurando respostas rápidas e seguras para a avaliação dos produtos e serviços oferecidos pelo mercado para o combate à corrosão. Dentre os principais métodos de avaliação de corrosão estão os ensaios de potencial de corrosão, ruído eletroquímico, impedância eletroquímica, ensaios de imersão, ensaios acelerados (névoa salina, dióxido de enxofre, umidade), dentre outros.

[0013] Todos os ensaios citados são destrutivos e de difícil realização, já que as variáveis nem sempre são conhecidas e mudam com o tempo. Além disso, estes ensaios são de difícil reprodutibilidade, pois avaliam pequenas áreas das amostras, sendo pouco representativos.

[0014] Não obstante, estas técnicas necessitam conexão direta entre a amostra e o equipamento utilizado para a análise. Adicionalmente, é fundamental a identificação dos mecanismos de corrosão que atuam mais fortemente sobre o metal, considerando o ambiente de operação, a fim de

preveni-los ou retardá-los.

Sumário da Invenção

[0015] Dessa forma, a presente invenção tem por objetivo resolver os problemas constantes no estado da técnica a partir de um método de análise que avalia a qualidade de revestimentos aplicados sobre um substrato metálico, em que o método não necessita de conexões elétricas com a amostra metálica. Especificamente, o método visa a determinação das propriedades protetivas de revestimentos de baixa espessura (filme fino), com até 5 µm, que possa ser aplicado sobre a liga magnetoelástica, baseando-se no monitoramento do processo corrosivo do metal em eletrólitos potencialmente agressivos. Adicionalmente, a presente invenção refere-se a um sistema para avaliação da qualidade de revestimentos aplicados sobre um substrato metálico (liga magnetoelástica) aplicando-se o monitoramento da frequência de ressonância. A invenção também se refere ao uso da liga magnetoelástica.

[0016] Em um primeiro aspecto a presente invenção descreve um sistema para avaliação de resistência à corrosão de revestimentos compreendendo os seguinte componentes:

- i) um material magnetoelástico, para verificar a variação da frequência de ressonância do sistema;
- ii) um material de revestimento a ser analisado, em que nesse material é depositado no material magnetoelástico (i);
- iii) uma equação para calcular a sensibilidade da massa:

$$S_m = \frac{\Delta f}{\Delta m} = \frac{1}{4L^2wt} * \sqrt{\frac{E}{\rho^3(1-\nu^2)}}$$

em que Δf é a variação de frequência de ressonância; m é a variação de massa na superfície do material (i); L é o comprimento do material (i); w é a largura do material (i); t é a espessura do material (i); E é o módulo de Young de elasticidade, ρ é a densidade do material sensor e; ν é o coeficiente de

Poisson;

- iv) analisador de rede, comandar o envio e recolhimento de informações;
- v) bobina, que excita o sistema por meio da geração de um campo magnético.

[0017] Em um segundo aspecto a presente invenção refere-se a um método para a avaliação de resistência à corrosão de revestimentos de baixa espessura (filme fino), com até 5 μm , que possa ser aplicado sobre a liga ferromagnética, compreendendo as seguintes etapas:

- a) aplicar o revestimento sobre a liga magnetoelástica de forma que toda a superfície seja recoberta, formando assim um sistema (liga/revestimento);
- b) imergir o sistema em um recipiente contendo um meio líquido potencialmente agressivo (eletrólito);
- c) acondicionar o recipiente contendo o sistema imerso no eletrólito em uma bobina ligada ao analisador de rede.
- d) iniciar a aplicação do campo magnético sobre o sistema e monitorar a frequência de ressonância gerada.
- e) acompanhar as variações da frequência de ressonância e correlaciona-las com os processos interfaciais e corrosivos sofridos pelo sistema durante o ensaio.

[0018] Em um terceiro aspecto, a presente invenção refere-se ao uso da liga ferromagnética amorfa (liga magnetoelástica) para a avaliação de resistência à corrosão de revestimentos.

[0019] Ainda, o conceito inventivo comum a todos os contextos de proteção reivindicados é a avaliação de resistência à corrosão de revestimentos, envolvendo a utilização de material magnetoelástico e os princípios da magnetostricção.

[0020] Estes e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e pelas empresas com interesses no

segmento, e serão descritos em detalhes suficientes para sua reprodução na descrição a seguir.

Breve Descrição das Figuras

[0021] Com o intuito de melhor definir e esclarecer o conteúdo do presente pedido de patente, são apresentadas as presente figuras:

[0022] A Figura 1 demonstra um esquema de disposição dos equipamentos e materiais utilizados para o ensaio de monitoramento da frequência de ressonância utilizando-se o analisador de rede e a bobina.

[0023] A Figura 2 demonstra um gráfico apresentando a variação da frequência de ressonância ($-\Delta f$) com relação ao tempo de um sistema (liga/revestimento) imerso durante 24 horas em solução de NaCl 0,05 M.

Descrição Detalhada da Invenção

[0024] A presente invenção descreve sobre um sistema e um método de avaliação da qualidade de revestimentos aplicados sobre um substrato metálico, sem a necessidade de conexões elétricas com a amostra. No método de avaliação, empregado na presente invenção, envolve a utilização de um substrato metálico específico (liga ferromagnética amorfa), e baseia-se no princípio da magnetostricção/magnetoelasticidade deste material, então chamado de liga magnetoelástica. Adicionalmente, a presente invenção também refere-se ao uso da uma liga magnetoelástica para a caracterização das propriedades protetivas de revestimentos de baixa espessura (filme fino), com até 5 μm .

[0025] O termo magnetostricção na presente invenção tem o mesmo significado que magnetoelasticidade, e é aqui definido pela deformação das estruturas de um material devido à ação de um campo magnético externo, gerando uma frequência de ressonância específica. Sendo que, esta propriedade é inerente ao material e não muda com o tempo de uso.

[0026] O termo material magnetoelástico é aqui definido como um

material ferromagnético amorfo que possui a propriedade da magnetoelasticidade, ou seja, sofre deformação quando exposto a um campo magnético externo e, quando retorna a suas dimensões originais, converte as oscilações mecânicas em energia magnética, que pode ser detectada como uma frequência de ressonância característica.

[0027] O termo substrato metálico na presente invenção refere-se a qualquer material metálico em que possa ser depositado um revestimento de proteção contra à corrosão. Ainda, na invenção o termo “substrato metálico específico” refere-se a liga magnetoelástica, pois para a realização do ensaio proposto necessita-se que substrato possua a propriedade da magnetoelasticidade.

[0028] O termo Analisador de Rede (AR) é melhor definido como um equipamento de aquisição de dados, sendo capaz de analisar as propriedades inerentes da eletricidade, principalmente as associadas a transmissão e reflexão dos sinais elétricos.

[0029] O princípio da magnetostricção demonstra que uma redução nas frequências de ressonância do sistema (liga/revestimento) são decorrentes do aumento de massa provocado pela absorção de eletrólito através do revestimento, indicando a permeabilidade do mesmo ou ainda pela formação de produto de corrosão resultante da ação do eletrólito diretamente sobre o metal devido ao recobrimento irregular, falhas ou fissuras, porosidade ou ainda variação na espessura do mesmo. Este método necessita de pequenas amostras, que são completamente recobertas pelo revestimento a ser testado, permitindo uma completa avaliação da área revestida, desde o centro até as bordas. O método proposto é capaz de detectar com precisão e rapidez falhas em revestimentos com baixa espessura (filmes finos), com até 5 μm , além de permitir o acompanhamento da ação protetiva destes revestimentos frente a corrosão de forma contínua.

[0030] A presente invenção descreve sobre um sistema de avaliação envolve a utilização de um substrato metálico específico (liga magnetoelástica),

e baseia-se no princípio da magnetostricção/magnetoelasticidade deste material. A partir desta propriedade, sabe-se que quando este material é exposto à um campo magnético variável, seus domínios magnéticos se orientam, provocando uma variação nas suas dimensões. Ao se retirar o campo magnético, os domínios magnéticos voltam ao estado desorientado, ocorrendo o retorno das dimensões originais do material, o que provoca a geração de um campo magnético resultante, com um frequência de ressonância específica, facilmente detectável. O fenômeno magnetoelástico ou magnetostricção é definido pela deformação das estruturas de um material devido à ação de um campo magnético externo. Esta propriedade é inerente ao material e não muda com o tempo de uso.

[0031] Para um material magnetoelástico de comprimento L , largura w e espessura t , vibrando no seu plano basal, a frequência de ressonância fundamental das oscilações longitudinais é dada pela Equação 1, onde E é o módulo de Young de elasticidade, ρ é a densidade do o material magnetoelástico, ν é o coeficiente de Poisson.

$$f_0 = \frac{1}{2L} * \sqrt{\frac{E}{\rho (1 - \nu^2)}} \quad (1)$$

[0032] A variação da frequência de ressonância está associada a frequência inicial do material (f_0), o aumento da massa sobre o material (m_c) e a massa inicial material (m_s), conforme mostra a Equação 2:

$$\Delta f = f - f_0 = -f_0 \frac{m_c}{2m_s} \quad (2)$$

[0033] Pela equação 2 observa-se que a frequência de ressonância resultante é diretamente afetada pelo aumento da massa na superfície do material, sendo esta propriedade conhecida como sensibilidade de massa. Com isso, qualquer variação de massa (Δm) altera a frequência de ressonância (Δf), e a sensibilidade de massa (S_m) pode ser expressa de acordo com a

Equação 3.

$$S_m = \frac{\Delta f}{\Delta m} = \frac{1}{4L^2wt} * \sqrt{\frac{E}{\rho^3(1-\nu)}} \quad (3)$$

[0034] Partindo destas propriedades da liga magnetoelástica, propõe-se a sua utilização como substrato para aplicação de revestimentos protetivos, a fim de avaliar as propriedades e a integridade destes revestimentos após períodos de imersão em meios líquidos (eletrólitos) de interesse. Considerando-se que as variações na frequências de ressonância do sistema (liga/revestimento) são decorrentes do aumento de massa provocado pela absorção de eletrólito pelo revestimento, indicando a presença de poros e/ou fissuras; ou ainda, devido a formação de produto de corrosão resultante da ação do eletrólito diretamente sobre o metal, indicando uma proteção ineficiente do revestimento, devido ao recobrimento irregular, falhas ou fissuras, porosidade, variação na espessura, etc. Este método necessita de pequenas amostras, que são completamente recobertas pelo revestimento a ser testado, permitindo uma completa avaliação da área revestida, desde o centro até as bordas.

[0035] Para a realização do ensaio proposto, faz-se necessário a utilização de um equipamento específico, chamado de analisador de rede. O analisador de rede é composto por um microcomputador e um software específico e por uma apenas uma bobina (*pick-up*) acoplada, que serve como meio de excitação e recepção de sinal. As faixas de frequência e DC bias são particulares para cada sistema, pois são propostas em função do comprimento específico de cada sistema analisado. O analisador de redes (AR) apresenta gráficos de frequência de ressonância com 1600 pontos de resolução na escala, com subdivisões, e com marcadores pré-dispostos para informar valores específicos de picos de ressonância. Os valores de ressonância são captados do AR por intermédio do software *I/O Functions* e dispostos em planilha, podendo assim traçar curvas com os dados recolhidos. O AR possui

ajustes que possibilitam a redução de ruído como o *Averaging* que faz médias de leituras (1 a 100) e o *smoothing* que suaviza as curvas para uma melhor visualização dos pontos de ressonância. A partir dos dados obtidos pelo Analisador de Rede, deve-se plotar os dados de frequência de ressonância *versus* o tempo, e avaliar as variações mais significativas, correlacionando-as aos eventos de alteração do revestimento e/ou de corrosão do substrato.

[0036] De modo que, em um primeiro aspecto a presente invenção descreve um sistema para avaliação de resistência à corrosão de revestimentos compreendendo os seguintes componentes:

- i) um material magnetoelástico, para verificar a variação da frequência de ressonância do sistema;
- ii) um material de revestimento a ser analisado, em que nesse material é depositado no material magnetoelástico (i);
- iii) uma equação para calcular a sensibilidade da massa:

$$S_m = \frac{\Delta f}{\Delta m} = \frac{1}{4L^2wt} * \sqrt{\frac{E}{\rho^3(1-\nu^2)}}$$

em que Δf é a variação de frequência de ressonância; m é a variação de massa na superfície do material (i); L é o comprimento do material (i); w é a largura do material (i); t é a espessura do material (i); E é o módulo de Young de elasticidade, ρ é a densidade do material sensor e; ν é o coeficiente de Poisson;

- iv) analisador de rede, comandar o envio e recolhimento de informações;
- v) bobina, que excita o sistema por meio da geração de um campo magnético.

em que para a avaliação de qualquer material de revestimento (ii) a espessura do revestimento formado no material (i) deve ter até 5 μ m.

[0037] Na presente invenção, o material o material magnetoelástico, descrito em (i), é qualquer liga metálica que possua a propriedade de

magnetoelasticidade.

[0038] Em outra concretização do primeiro aspecto, o analisador de rede é composto por um microcomputador e um software específico e por uma apenas uma bobina (*pick-up*) acoplada, que serve como meio de excitação e recepção de sinal em que o analisador de rede apresenta gráficos de frequência de ressonância; em que os valores de ressonância são captados do analisador de rede (iv) por intermédio do software *I/O Functions* e dispostos em planilha, podendo assim traçar curvas com os dados recolhidos; em que o analisador de rede possui ajustes que possibilitam a redução de ruído como o *Averaging* que faz médias de leituras (1 a 100) e o *smoothing* que suaviza as curvas para uma melhor visualização dos pontos de ressonância.

[0039] Assim, em um segundo aspecto a presente invenção refere-se a um método para a avaliação de resistência à corrosão de revestimentos de baixa espessura (filme fino), com até 5 μm , que possa ser aplicado sobre a liga ferromagnética, compreendendo as seguintes etapas:

- a) aplicar o revestimento sobre a liga magnetoelástica de forma que toda a superfície seja recoberta, formando assim um sistema (liga/revestimento);
- b) imergir o sistema em um recipiente contendo um meio líquido potencialmente agressivo (eletrólito);
- c) acondicionar o recipiente contendo o sistema imerso no eletrólito em uma bobina ligada ao analisador de rede.
- d) iniciar a aplicação do campo magnético sobre o sistema e monitorar a frequência de ressonância gerada.
- e) acompanhar as variações da frequência de ressonância e correlaciona-las com os processos interfaciais e corrosivos sofridos pelo sistema durante o ensaio.

[0040] Para a funcionalidade da presente invenção, qualquer liga metálica que possua a propriedade de magnetostricção e magnetoelasticidade pode ser usado como Ligas Magnetoelástica. Em exemplos não limitativos,

pode-se destacar as ligas que possuem esta propriedade como: as ligas a base de ferro (Ni–Co–Mo–Fe, Co-Fe-Si-B, Fe-B-Mo-Co-Ni), especialmente a liga Fe-Ni-Mo-B, que é muito estudada como plataforma para sensores de carregamento de massa.

[0041] Similarmente, na presente invenção é considerado um meio líquido potencialmente agressivo qualquer eletrólito que possua íons (cátions e ânions) dissociados, tornando-se assim um condutor de eletricidade. Dentre os íons dissociados, os mais agressivos são os sulfatos (SO_4^{-2}), os hidretos (H^+) e os cloretos (Cl^-). Logo, qualquer líquido que possua estes íons dissociados pode ser considerado potencialmente agressivo a um metal/revestimento. Como exemplo, pode-se citar as soluções de cloreto de sódio (NaCl), cloreto de potássio (KCl), ácido sulfúrico (H_2SO_4), entre outras.

[0042] O método proposto se destaca por permitir acompanhar a ação do eletrólito sobre o revestimento de forma contínua por longos períodos de tempo, sem contato elétrico com a amostra. Com isso é possível determinar e caracterizar os mecanismos de corrosão durante toda a análise.

[0043] É fundamental a utilização da liga magnetoelástica como base para o presente método proposto, uma vez que, ela possui a propriedade de magnetoelasticidade, que promove a variação das dimensões do material e a partir disto, gera uma frequência de ressonância específica detectável e mensurável.

[0044] Assim, em um terceiro aspecto, a presente invenção refere-se ao uso da liga magnetoelástica para a avaliação de resistência à corrosão de revestimentos.

[0045] Dessa forma, a presente invenção é capaz de detectar com precisão e rapidez falhas em revestimentos com baixa espessura (filmes finos), com até 5 μm , além de permitir o acompanhamento da ação protetiva destes revestimentos frente a corrosão de forma contínua.

[0046] Adicionalmente, a invenção poderá ser de grande interesse nas áreas de engenharia para a pesquisa e acompanhamento da qualidade de

revestimentos em empresas de tintas, vernizes, revestimentos metálicos e orgânicos. Estes revestimentos a serem pesquisados e caracterizados pelo método aqui proposto são amplamente utilizados na proteção contra a corrosão de embalagens metálicas na indústria de alimentos, de estruturas metálicas aeronáuticas, marítimas e terrestres.

Exemplos - Concretizações

[0047] Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

[0048] A Figura 1 mostra o esquema para a execução do ensaio proposto, onde o sistema (liga/revestimento), aqui chamado de sensor magnetoelástico, está imerso em um eletrólito, dispostos em um microtubo, acondicionados na bobina que encontra-se acoplada ao analisador de rede. A partir desta composição, é possível iniciar o processo de monitoramento da frequência de ressonância do sistema, gerado pela ação do campo magnético produzido pela bobina.

[0049] Na Figura 2, apresenta-se um exemplo de acompanhamento da ação protetiva de um revestimento aplicado sobre uma liga magnetoelástica. Observa-se inicialmente uma $- \square f$ em torno de 200 Hz, que se manteve estável ao longo de 2 horas, relacionada à estabilização do sistema no meio líquido que gera amortecimento às oscilações do sistema. Após 2 horas observa-se uma $- \square f$ em torno de 500 Hz, associado à permeabilidade do revestimento, o que permite a absorção de eletrólito, promovendo assim o aumento da massa sobre o sistema e, conseqüentemente, a diminuição da frequência de ressonância. Com o passar do tempo de imersão, observa-se oscilações na $- \square f$, relacionadas ao desprendimento e dissolução dos óxidos (produtos de corrosão) formados na superfície da amostra, que se formam e se dissolvem repetidamente.

[0050] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui

apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes, abrangidas no escopo das reivindicações anexas.

Reivindicações

1. Sistema para avaliação de resistência à corrosão de revestimentos **caracterizado** por compreender os seguinte componentes:

- i) um material magnetoelástico, para verificar a variação da frequência de ressonância do sistema;
- ii) um material de revestimento a ser analisado, em que esse material é depositado no material magnetoelástico (i) ;
- iii) uma equação para calcular a sensibilidade da massa:

$$S_m = \frac{\Delta f}{\Delta m} = \frac{1}{4L^2wt} * \sqrt{\frac{E}{\rho^3(1-\nu)}}$$

em que Δf é a variação de frequência de ressonância; m é a variação de massa na superfície do material (i); L é o comprimento do material (i); w é a largura do material (i); t é a espessura do material (i); E é o módulo de Young de elasticidade, ρ é a densidade do material sensor e; ν é o coeficiente de Poisson;

- iv) analisador de rede, para comandar o envio e recolhimento de informações e;
- v) bobina, em que a dita bobina excita o sistema por meio da geração de um campo magnético.

em que para a avaliação de qualquer material de revestimento (ii) a espessura do revestimento formado no material (i) deve ter até 5 μ m.

2. Sistema, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo analisador de rede ser composto por apenas uma bobina (*pick-up*), que serve como meio de excitação e recepção de sinal; em que o analisador de rede apresenta gráficos de frequência de ressonância; em que os valores de ressonância são captados do analisador de rede (iv) por intermédio de softwares que dispões os valores em planilha, podendo assim traçar curvas com os dados recolhidos; em que o analisador de rede possui ajustes que possibilitam a redução de ruído e que suaviza as curvas para uma melhor visualização dos pontos de ressonância.

3. Método para a avaliação de resistência à corrosão de revestimento **caracterizado** pelo revestimento ser de baixa espessura, com até 5 μm , que possa ser aplicado sobre a liga ferromagnética, compreendendo as seguintes etapas:

- a) aplicar o revestimento sobre a liga magnetoelástica de forma que toda a superfície seja recoberta, formando assim um sistema (liga/revestimento);
- b) imergir o sistema em um recipiente contendo um meio líquido potencialmente agressivo (eletrólito);
- c) acondicionar o recipiente contendo o sistema imerso no eletrólito em uma bobina ligada ao analisador de rede.
- d) iniciar a aplicação do campo magnético sobre o sistema e monitorar a frequência de ressonância gerada.
- e) acompanhar as variações da frequência de ressonância e correlaciona-las com os processos interfaciais e corrosivos sofridos pelo sistema durante o ensaio.

4. Uso da liga magnetoelástica **caracterizado** por ser para a avaliação de resistência à corrosão de revestimentos.

5. Uso da liga magnetoelástica, conforme definido na reivindicação 4, **caracterizado** por ser para avaliar a resistência à corrosão de revestimento em um sistema conforme definido nas reivindicações de 1 a 2.

FIGURAS

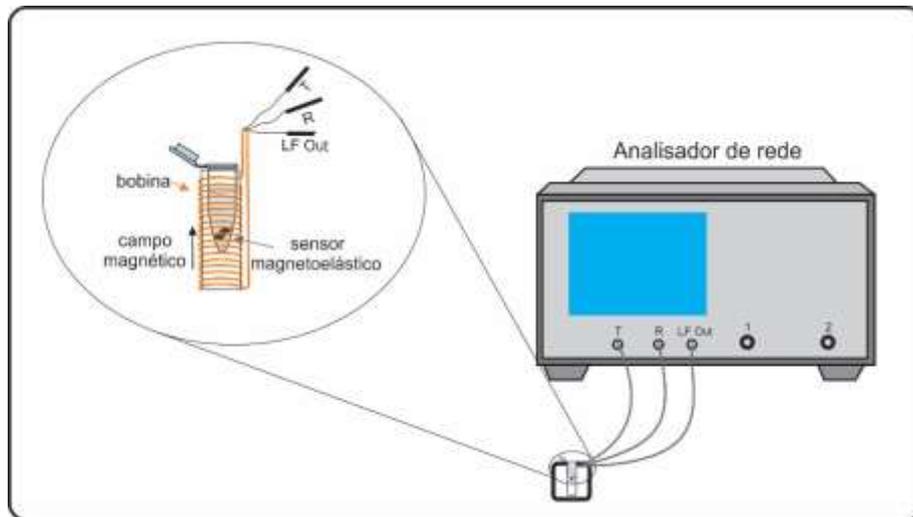


Figura 1

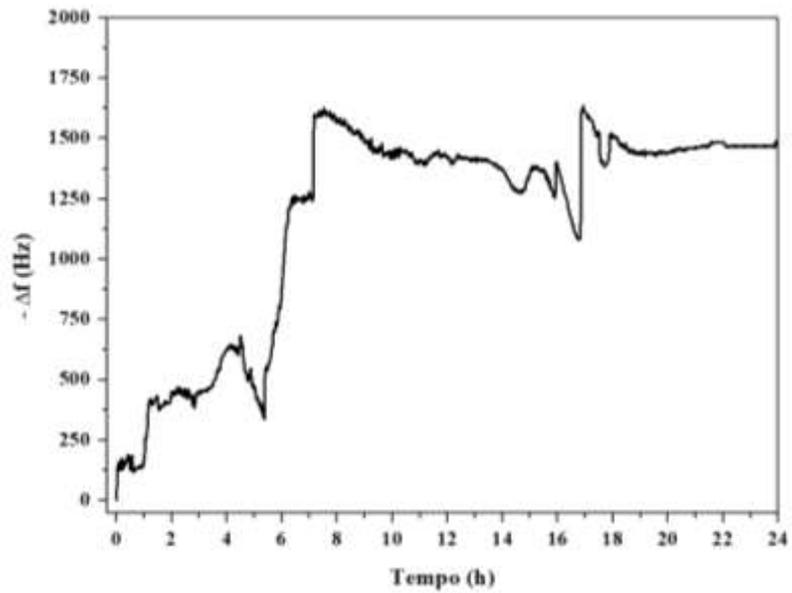


Figura 2

Resumo**SISTEMA PARA AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE REVESTIMENTOS, MÉTODO PARA A AVALIAÇÃO DE RESISTÊNCIA À CORROSÃO DE REVESTIMENTO E USO DA LIGA MAGNETOESLÁSTICA**

A presente invenção descreve sobre um método de avaliação da qualidade de revestimentos aplicados sobre um substrato metálico, sem a necessidade de conexões elétricas com a amostra. No sistema de avaliação, empregado na presente invenção, envolve a utilização de um substrato metálico específico – liga ferromagnética amorfa, e baseia-se no princípio da magnetostricção/magnetoelasticidade deste material, então chamada de liga magnetoelástica. Adicionalmente, a presente invenção também refere-se ao uso de uma liga magnetoelástica para a caracterização das propriedades protetivas de revestimentos de baixa espessura (filme fino), com até 5 μm . A presente invenção se situa nos campos da química e da física, mais especificamente na análise de materiais.